

5

### **Ventil für eine Kraftstoffeinspritzpumpe**

Die Erfindung betrifft ein Ventil für ein Kraftstoffeinspritzsystem einer Verbrennungsmaschine mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen, und zwar insbesondere für einen Injektor eines Common-Rail-Einspritzsystems.

#### **Stand der Technik**

Common-Rail-Einspritzsysteme weisen eine Mehrzahl von Injektoren auf, die unter der Kontrolle einer elektronischen Motorsteuerung von einer Hochdruckpumpe aus einem als Common-Rail bezeichneten zentralen Hochdruckspeicher mit Kraftstoff gespeist werden und den Kraftstoff über ein Ventil in die Brennräume der Zylinder der Verbrennungsmaschine einspritzen. Ein solches Ventil ist unter anderem aus der DE 199 40 296 A1 der Anmelderin bekannt und dient je nach Ventilstellung dazu, einen Hochdruckbereich eines Injektors des Einspritzsystems mit einem Niederdruckbereich zu verbinden bzw. von diesem zu trennen, wenn Kraftstoff durch das Ventil in den Brennraum eines Zylinders eingespritzt bzw. die Zufuhr von Kraftstoff unterbrochen werden soll.

Wenn der Kraftstoff bei geöffnetem Ventil mit hoher Geschwindigkeit durch den zwischen Ventilsitz und Dichtfläche gebildeten Ringkanals strömt, dessen Querschnitt sich hinter dem Ventilsitz stark erweitert,

- kann es dort zu Kavitationen im Kraftstoff kommen. Dabei bilden sich im Kraftstoff Dampfblasen, wenn der Druck lokal unter den Dampfdruck des Kraftstoffs absinkt. Bei einem erneuten Druckanstieg kondensiert der Kraftstoff in den Dampfblasen, wobei er mit hoher Geschwindigkeit gegen benachbarte Begrenzungsfächen des Ringkanals schlägt. Dadurch kann es direkt hinter dem Ventilsitz zum Auftreten von Kavitationsschäden kommen, durch die mit fortschreitender Erosion auch der Ventilsitz selbst angegriffen wird.
- 5
- 10 Um dieses Problem zu lösen, wurde in der DE 199 40 296 A1 vorgeschlagen, den Querschnitt des Ringkanals ausgehend von einem minimalen Querschnitt im Bereich des Ventilspalts mit einem konstanten Gradienten zu erweitern. Jedoch hat sich gezeigt, dass dies Maßnahme nicht immer ausreicht, um Kavitationsschäden sicher zu verhindern.
- 15

#### Vorteile der Erfindung

- Bei Verwendung des erfindungsgemäßen Ventils mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen konnten demgegenüber Kavitationschäden mit gutem Erfolg verhindert werden, weil der Kraftstoffstrom hinter dem Ventilsitz nicht einfach nur in axiale Richtung umgelenkt wird. Statt dessen erhält er beim Durchströmen der Hohlkehle eine Geschwindigkeitskomponente in einer von der Mittelachse des Ventilgliedes weg weisenden Richtung, so dass er nach dem Austritt aus der Hohlkehle auf einen gegenüberliegenden Bereich einer Innenwand einer Abströmbohrung des Ventilgehäuses prallt. Beim Aufprall wird ein Teil des Kraftstoffstroms entlang der Innenwand zurück in Richtung des Ventilspalts geleitet, wodurch sich unmittelbar hinter
- 20
- 25
- 30 diesem im erweiterten Ringraum zwischen der Hohlkehle und dem

gegenüberliegenden Wandbereich der Innenwand ein Wirbel bildet. Durch diesen Wirbel wird zum einen zusätzlicher Kraftstoff in den Ringraum hinter dem Ventilspalt eingetragen, so dass dort vermehrt Kraftstoff vorhanden ist, was Kavitationserscheinungen in der Nähe des Ventilspalts und dadurch langfristig verursachten Kavitations-schäden am Ventilsitz entgegenwirkt. Zum anderen strömt der in Richtung des Ventilspalts zurück geleitete Kraftstoff an der Innenwand des Ventilgehäuses entlang, womit gerade in diesen beson-ders kavitationsgefährdeten Bereich zusätzlicher Kraftstoff einge-bracht und eine lokale Dampfblasenbildung infolge eines Kraftstoff-druckabfalls vermieden werden kann.

Unter Hohlkehle soll im Kontext der vorliegenden Erfindung eine konkave Ringnut im Umfang des Ventilglieds verstanden werden, während unter Querschnittsverdickung ein in Strömungsrichtung an-grenzender Teil des Ventilglieds verstanden wird, dessen Durchmes-ser größer als der Durchmesser im Bereich der Ringnut ist.

Eine besonders gute Wirbelbildung im erweiterten Ringraum hinter dem Ventilspalt wird in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung da-durch erreicht, dass zwischen der Hohlkehle und der Querschnitts-verdickung eine hinterschnittene umlaufende Abrisskante angeordnet ist, an der beiderseits an diese Kante angrenzende äußere Um-fangsflächenabschnitte der Hohlkehle und der Querschnittserweite-rung unter einem überstumpfen Winkel aufeinandertreffen.

Während der auf der Seite der Querschnittsverdickung an die Kante angrenzende äußere Umfangsflächenabschnitt bevorzugt im We-sentlichen parallel zu einer Mittelachse des Ventilglieds ausgerichtet ist, ist der auf der Seite der Hohlkehle an die Kante angrenzende

- Umfangsflächenabschnitt vorzugsweise entgegen der Strömungsrichtung unter einem Winkel zwischen 20 und 80 Grad, vorzugsweise zwischen 30 und 60 Grad, zur Mittelachse des Ventilglieds hin geneigt, so dass die beiden Umfangsflächenabschnitte unter einem
- 5 Winkel zwischen 200 und 260 Grad, vorzugsweise zwischen 190 und 240 Grad aufeinandertreffen.
- Eine besonders einfache und kostengünstige Herstellung der Abrisskante ist gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung dadurch möglich, dass man bei der Endbearbeitung des Ventilgliedes dessen äußere Umfangsfläche mindestens im Bereich der dem Ventilsitz gegenüberliegenden Dichtfläche und der Hohlkehle bis auf den endgültigen Durchmesser abschleift, nicht jedoch im Bereich der Querschnittsverdickung, so dass das dort stehen bleibende
- 10 Material automatisch zur Bildung der Abrisskante führt. In diesem Fall verjüngt sich der Querschnitt des Ventilglieds in Strömungsrichtung hinter der Querschnittsverdickung, was jedoch nicht notwendigerweise der Fall sein muss.
- 15 Um eine für die Serienfertigung kostengünstig zu fertigende Geometrie des Ventilglieds bereitzustellen, weist die konkave Hohlkehle zweckmäßig einen Krümmungsradius auf, der bevorzugt mindestens 0,2 mm beträgt und zweckmäßig über die gesamte Breite der Hohlkehle gleichbleibend groß ist.
- 20 Um die Wirbelbildung zu fördern, kann gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung auch vorgesehen werden, einen der Hohlkehle im Wesentlichen gegenüberliegenden Innenwandabschnitt der Abströmbohrung nicht parallel zur Mittelachse des Ventilglieds bzw. zur Mittelachse der Abströmbohrung auszurichten, son-
- 25
- Um die Wirbelbildung zu fördern, kann gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung auch vorgesehen werden, einen der Hohlkehle im Wesentlichen gegenüberliegenden Innenwandabschnitt der Abströmbohrung nicht parallel zur Mittelachse des Ventilglieds bzw. zur Mittelachse der Abströmbohrung auszurichten, son-
- 30

dern in diesem Abschnitt eine Stufe oder Schräge anzubringen, die eine Umlenkung eines Teils des Kraftstoffstroms in Richtung des Ventilspalts unterstützt.

## 5 Zeichnungen

Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- 10 Figur 1 eine Seitenansicht eines Ventilglieds oder Ventilbolzens eines erfindungsgemäßen Ventils;
- 0 Figur 2 eine vergrößerte Querschnittsansicht des Ventils im Bereich des Ventilspalts gemäß Ausschnitt Z aus Figur 1;
- 15 Figur 3 eine Ausschnittsvergrößerung entsprechend Figur 2, jedoch mit einer anderen Geometrie des Ventilglieds in Strömungsrichtung hinter dem Ventilspalt;
- 20 Figur 4 eine Ausschnittsvergrößerung entsprechend Figur 2, jedoch mit einer noch anderen Geometrie des Ventilglieds und des Ventilgehäuses in Strömungsrichtung hinter dem Ventilspalt.
- 25

### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Das in der Zeichnung nur teilweise dargestellte Ventil 2 ist Teil eines Injektors eines Common-Rail-Einspritzsystems einer Verbrennungsmaschine, der dazu dient, Kraftstoff aus einem als Common-Rail be-

zeichneten zentralen Hochdruckspeicher in die Brennräume der Zylinder der Verbrennungsmaschine einspritzen.

Der vollständige Aufbau eines derartigen Injektors ist zum Beispiel in  
5 der DE 196 19 523 A1 der Anmelderin ausführlich beschrieben, wäh-  
rend sich weitere Einzelheiten über den Aufbau seines Ventils aus  
der bereits genannten DE 199 40 296 A1 der Anmelderin entnehmen  
lassen, so dass an dieser Stelle auf eine nähere Erläuterung ver-  
zichtet und zu diesem Zweck auf die genannten Druckschriften ver-  
10 wiesen wird.

Das Ventil 2 besteht im Wesentlichen aus einem Ventilgehäuse 4, in  
das ein rotationssymmetrischer Ventilbolzen 6 (vgl. Figur 1) axial  
beweglich eingesetzt ist. Der Ventilbolzen 6 weist eine konische, in  
15 Strömungsrichtung verjüngte Dichtfläche 8 auf, die bei geschlosse-  
nem Ventil 2 dichtend gegen einen komplementären konischen Ven-  
tilsitz 10 des Gehäuses 4 anliegt. Wie am besten in den Figuren 2 bis  
4 dargestellt, begrenzt bei geöffnetem Ventil 2 die Dichtfläche 8 zu-  
sammen mit dem Ventilsitz 10 einen den Ventilbolzen 6 umgebenden  
20 Ventilspalt 12 in Form eines ringförmigen Strömungskanals, durch  
den der einzuspritzende Kraftstoff von der Hochdruckseite 14 des  
Ventils 2 zu dessen Niederdruckseite 16 strömt.

Der Ventilbolzen 6 weist weiter eine in Strömungsrichtung unmittel-  
25 bar hinter der Dichtfläche 8 in seinem äußeren Umfang angeordnete  
umlaufende Hohlkehle 18 auf, das heißt eine im Längsschnitt konka-  
ve Vertiefung oder Nut, über deren axiale Breite der Durchmesser  
des Ventilbolzens 6 kleiner als davor bzw. dahinter ist, wo der Ventil-  
bolzen 6 mit einer an die Hohlkehle 18 angrenzenden Querschnitts-  
30 verdickung 20 versehen ist.

Die Hohlkehle 18 dient dazu, mindestens einen Teil des hinter dem Ventilsitz 10 im Wesentlichen in axialer Richtung abgeführten Kraftstoffstroms so umzulenken, dass er eine von einer Mittelachse 22 5 des Ventilbolzens 6 weg gerichtete Geschwindigkeitskomponente aufweist und nach seinem Austritt aus der Hohlkehle 18 gegen einen gegenüberliegenden Bereich der Innenwand 24 einer Abströmbohrung 26 des Ventilgehäuses 4 prallt. Wie am besten in Figur 2, 3 und 4 durch Pfeile dargestellt, teilt sich dabei der Kraftstoffstrom in zwei 10 Teilströme auf, von denen der größere nach dem Aufprall entlang der Innenwand 24 der Abströmbohrung 26 in den stromabwärtigen Teil der Bohrung 26 gelenkt wird, während der kleinere entgegen der Strömungsrichtung zum Ventilspalt 12 hin zurück gelenkt wird. In dem in Strömungsrichtung an den Ventilspalt 12 anschließenden er- 15 weiterten Ringraum 30 zwischen der Hohlkehle 18 und dem gegenüberliegenden Wandbereich der Innenwand 24 bildet dieser Teilstrom zusammen mit dem aus dem Ventilspalt 12 abströmenden Kraftstoffstrom einen Wirbel 32, der das Ventilgehäuse 4 im Bereich unmittelbar hinter dem Ventilsitz 10 vor einer durch Kavitation hervorgerufenen Erosion schützt, so dass der Ventilsitz 10 auch über eine lange 20 Betriebszeit unbeschädigt bleibt.

Um diesen schützenden Wirbel 32 zu bilden, darf der Neigungswinkel des aus der Hohlkehle 18 austretenden Kraftstoffstroms in Bezug 25 zur Mittelachse 22 des Ventilbolzens 6 nicht zu klein sein, da ansonsten der gesamte Kraftstoff direkt in die Abströmbohrung 26 ge- lenkt wird. Daher sollte zum einen die Hohlkehle 18 nicht zu flach ausgebildet sein, sondern in Bezug zur anschließenden Querschnittsverdickung eine gewisse Mindesttiefe T (Figur 1) aufweisen, 30 die bei einem Durchmesser des Ventilbolzens 6 in der Mitte der

Dichtfläche von 1,35 mm vorzugsweise größer als 0,04 mm sein sollte. Zum anderen sollte die Hohlkehle 18 am Übergang zur Querschnittsverdickung nicht gerundet sein, weil dadurch der Neigungswinkel des aus der Hohlkehle 18 austretenden Kraftstoffstroms in

5 Bezug zur Mittelachse 22 ebenfalls kleiner wird. Statt dessen wird zwischen der Hohlkehle 18 und der Querschnittsverdickung 20 eine umlaufende Kante 34 vorgesehen, an der aneinandergrenzende äußere Umfangsflächenabschnitte 36, 38 der Hohlkehle 18 und der Querschnittsverdickung 20 einen überstumpfen Winkel  $\beta$  (Figur 1)

10 einschließen, der wenigstens 200 Grad betragen und vorzugsweise zwischen 220 Grad und 240 Grad liegen sollte. Anders als bei einem gerundeten Übergang reißt an einer solchen Kante 34 die Strömung des Kraftstoffs von der Umfangsfläche des Ventilbolzens 6 ab, was jedoch wegen der gehärteten Oberfläche des Ventilbolzens 6 keine

15 Kavitationsschäden zur Folge hat. Der Strömungsabriß an der Kante 34 bewirkt, dass der Kraftstoff aus der Hohlkehle 18 unter einem Neigungswinkel zur Mittelachse 22 austritt, der im Wesentlichen dem Neigungswinkel  $\alpha$  des innerhalb der Hohlkehle 18 an die Kante 34 angrenzenden Umfangsflächenabschnitts 36 entspricht. Je nach-

20 dem, wie groß dieser Neigungswinkel gewählt wird, wird beim Aufprall des Kraftstoffstroms auf den gegenüberliegenden Bereich der Innenwand 24 der Abströmbohrung 26 mehr oder weniger Kraftstoff in Richtung des Ventilspalts 12 zurück gelenkt. Durch eine geeignete Wahl dieses Neigungswinkels, der vorzugsweise zwischen 20 und 60

25 Grad beträgt, kann daher der Anteil des zurückströmenden Kraftstoffs auf einen solchen Wert eingestellt werden, dass einerseits durch eine Wirbelbildung Kavitationsschäden unmittelbar hinter dem Ventilsitz 10 verhindert werden, andererseits jedoch die Wirbelbil-

dung das Abströmen des Kraftstoffs nach seinem Austritt aus dem Ventilspalt 12 nicht beeinträchtigt.

- Bei allen dargestellten Ausführungsbeispielen schützt der entlang der
- 5 Innenwand 24 zurückströmende Kraftstoff die letztere bis unmittelbar hinter dem Ventilspalt 12 vor kavitationsbedingten Schäden, die ansonsten infolge eines Druckabfalls im Kraftstoff bei dessen Austritt aus dem Ventilspalt 12 in den Ringraum 30 verursacht werden könnten.

10

- Während Figur 2 einen Ventilbolzen 6 zeigt, bei dem der innerhalb der Hohlkehle 18 an die Kante 34 angrenzende Umfangsflächenabschnitt 36 unter einem Neigungswinkel  $\alpha$  von etwa 60 Grad zur Mittelachse 22 des Ventilbolzens 6 ausgerichtet ist, der Kraftstoff daher ziemlich steil auf die Innenwand 24 der Abströmbohrung 26 prallt und somit relativ viel Kraftstoff in Richtung des Ventilspalts 28 zurück gelenkt wird, zeigen die Figuren 3 und 4 zwei Ventilbolzen 6, bei denen dieser Neigungswinkel  $\alpha$  etwa 35 Grad bzw. etwa 20 Grad beträgt, und daher entsprechend weniger Kraftstoff unter Bildung eines Wirbels 34 in Richtung des Ventilspalts 28 zurück gelenkt wird.

- Da der Neigungswinkel  $\alpha$  in Figur 4 bereits im Grenzbereich liegt, in dem sich noch ein Wirbel 34 bildet, ist dort die gegenüberliegende Innenwand 24 der Abströmbohrung 26 mit einer kleinen Stufe 40 versehen. Diese Stufe 40 begünstigt infolge ihrer zur Mittelachse 22 des Ventilbolzens 6 und der Abströmbohrung 26 geneigten Oberfläche das Zurücklenken eines Teils des Kraftstoffstroms in Richtung des Ventilspalts 12.

Die konkave Begrenzung der Hohlkehle 18 ist bei allen Ausführungsbeispielen kreisförmig, wobei der Krümmungsradius 0,2 mm nicht unterschreiten sollte, um eine kostengünstige Serienfertigung des Ventilbolzens 6 zu ermöglichen. An ihrer dem Ventilspalt 12 zu-

5 gewandten Seite geht die Hohlkehle 18 vorzugsweise übergangslos in die Dichtfläche 8 über, wie bei allen Ausführungsbeispielen dargestellt.

Die scharfe Abrisskante 34 auf der anderen Seite der Hohlkehle 18

10 kann bei einer Serienfertigung der Ventilbolzen 6 kostengünstig dadurch hergestellt werden, dass der Ventilbolzen 6 bei seiner Endbearbeitung beiderseits der Querschnittsverdickung 20 auf seinen endgültigen Durchmesser abgeschliffen wird, nicht jedoch im Bereich der Querschnittsverdickung 20, so dass dort der vor der schleifenden

15 Endbearbeitung des Ventilbolzens 6 vorhandene Durchmesser erhalten bleibt, was am Übergang zur Hohlkehle 18 automatisch zur Ausbildung der Abrisskante 34 führt.

5

### Patentansprüche

1. Ventil für ein Kraftstoffeinspritzsystem mit einem in einem Ventilgehäuse ausgebildeten Ventilsitz und einem im Ventilgehäuse beweglichen Ventilglied, das eine bei geschlossenem Ventil dichtend gegen den Ventilsitz anliegende Dichtfläche aufweist, die bei geöffnetem Ventil zusammen mit dem Ventilsitz einen von Kraftstoff durchströmten Ventilspalt begrenzt, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ventilglied (6) eine in Strömungsrichtung unmittelbar hinter der Dichtfläche (8) angeordnete umlaufende Hohlkehle (18) aufweist, an die sich eine umlaufende Querschnittsverdickung (20) des Ventilglieds (6) anschließt.
2. Ventil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen der Hohlkehle (18) und der Querschnittsverdickung (20) eine umlaufende Kante (34) angeordnet ist, an der aneinander grenzende äußere Umfangsflächenabschnitte (36, 38) der Hohlkehle (18) und der Querschnittsverdickung (20) unter einem Winkel ( $\beta$ ) aufeinandertreffen.
3. Ventil nach Anspruch 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umfangsflächenabschnitte (36, 38) des Ventilglieds (6) an der Kante (34) unter einem überstumpfen Winkel ( $\beta$ ) aufeinandertreffen.

25

4. Ventil nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der auf der Seite der Querschnittsverdickung (20) an die Kante (34) angrenzende äußere Umfangsflächenabschnitt (38) im Wesentlichen parallel zu einer Mittelachse (22) des Ventilglieds (6) ausgerichtet ist.
5. Ventil nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der auf der Seite der Hohlkehle (18) an die Kante (34) angrenzende Umfangsflächenabschnitt (36) unter einem Winkel zwischen 20 und 60 Grad zu einer Mittelachse (22) des Ventilglieds (6) geneigt ist.
6. Ventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Krümmungsradius der Hohlkehle (18) größer als 0,2 mm ist.
7. Ventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hohlkehle (18) und die Dichtfläche (8) übergangslos ineinander übergehen.
- 20 8. Ventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich der Querschnitt des Ventilglieds (6) in Strömungsrichtung hinter der Querschnittsverdickung (20) verjüngt.
- 25 9. Ventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine äußere Umfangsfläche des Ventilglieds (6) mindestens im Bereich der Dichtfläche (8) und der Hohlkehle (18) abgeschliffen ist, nicht jedoch im Bereich der Querschnittsverdickung (20).

10. Kraftstoffeinspritzpumpe, **gekennzeichnet durch** einem Ventil  
nach einem der vorangehenden Ansprüche.

5

### **Zusammenfassung**

Die Erfindung betrifft ein Ventil (2) für ein Kraftstoffeinspritzsystem mit einem in einem Ventilgehäuse (4) ausgebildeten Ventilsitz (8) und einem im Ventilgehäuse (4) beweglichen Ventilglied (6), das eine bei geschlossenem Ventil (2) dichtend gegen den Ventilsitz (8) anliegende Dichtfläche (10) aufweist, die bei geöffnetem Ventil (2) zusammen mit dem Ventilsitz (8) einen von Kraftstoff durchströmten Ventilspalt (12) begrenzt. Um Kavitationsschäden zu verhindern wird vorgeschlagen, dass das Ventilglied (6) eine in Strömungsrichtung unmittelbar hinter der Dichtfläche (10) angeordnete umlaufende Hohlkehle (18) aufweist, an die sich eine umlaufende Querschnittsverdickung (20) des Ventilglieds (6) anschließt.

20 (Figur 2)

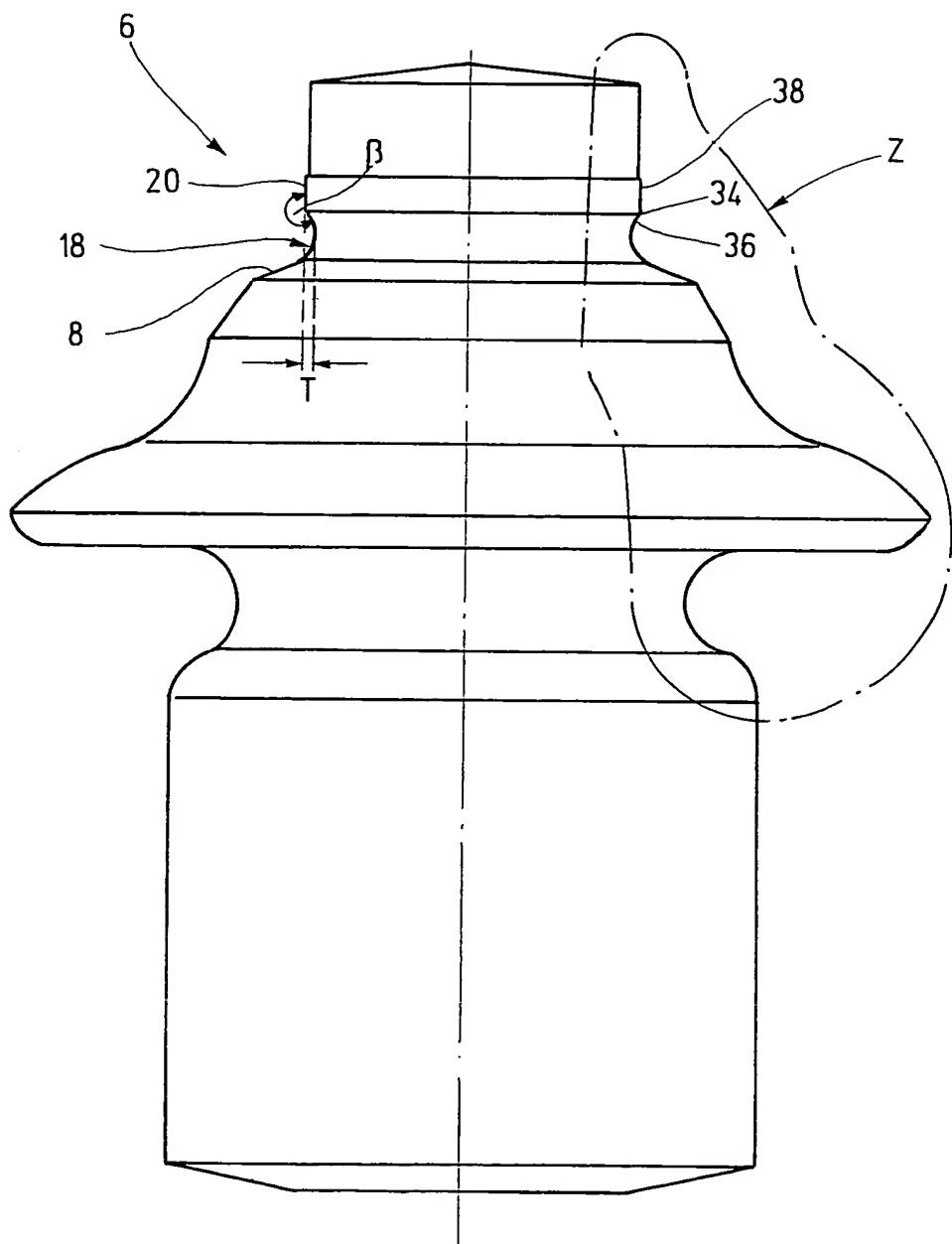


Fig.1

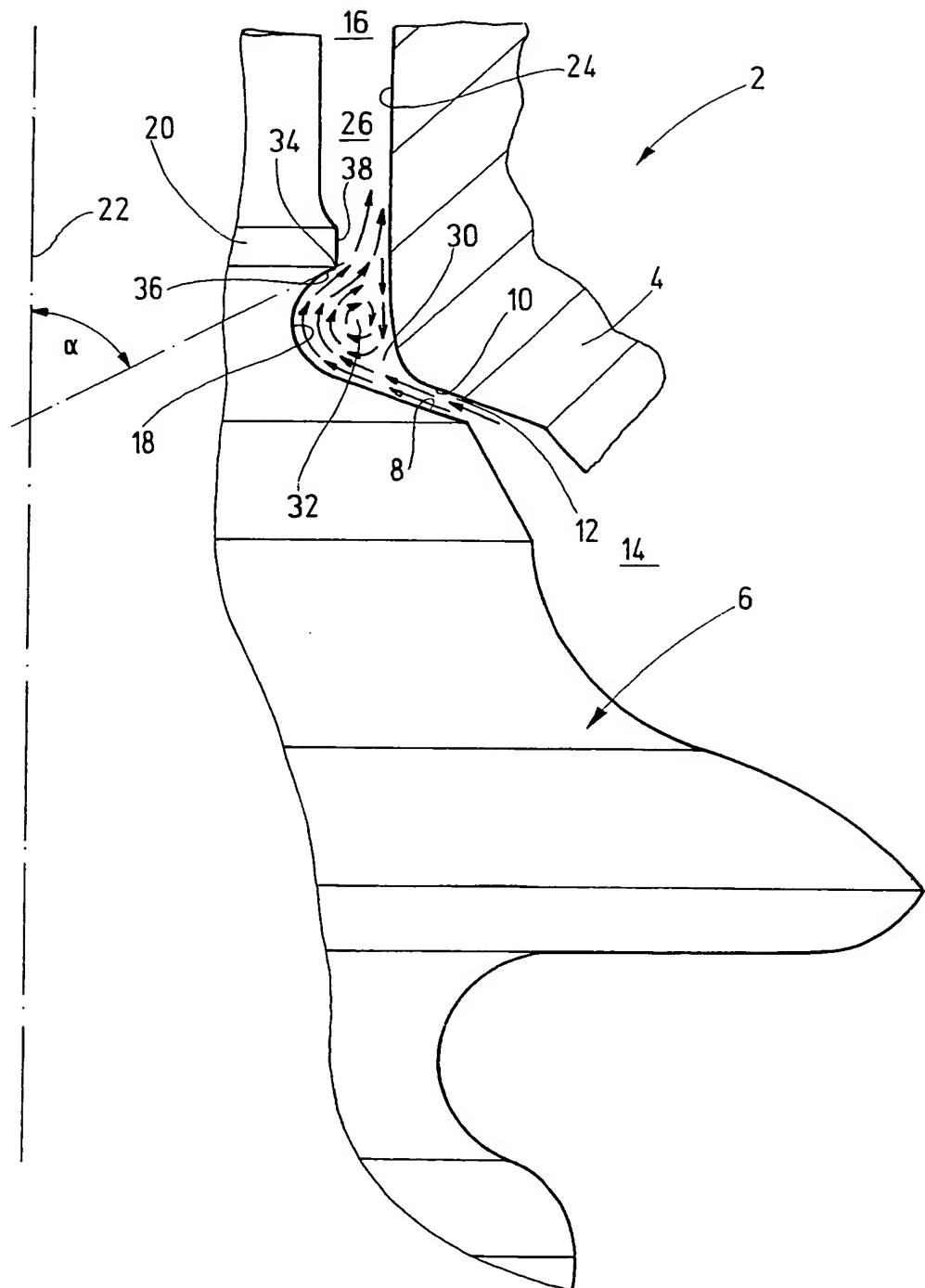


Fig.2

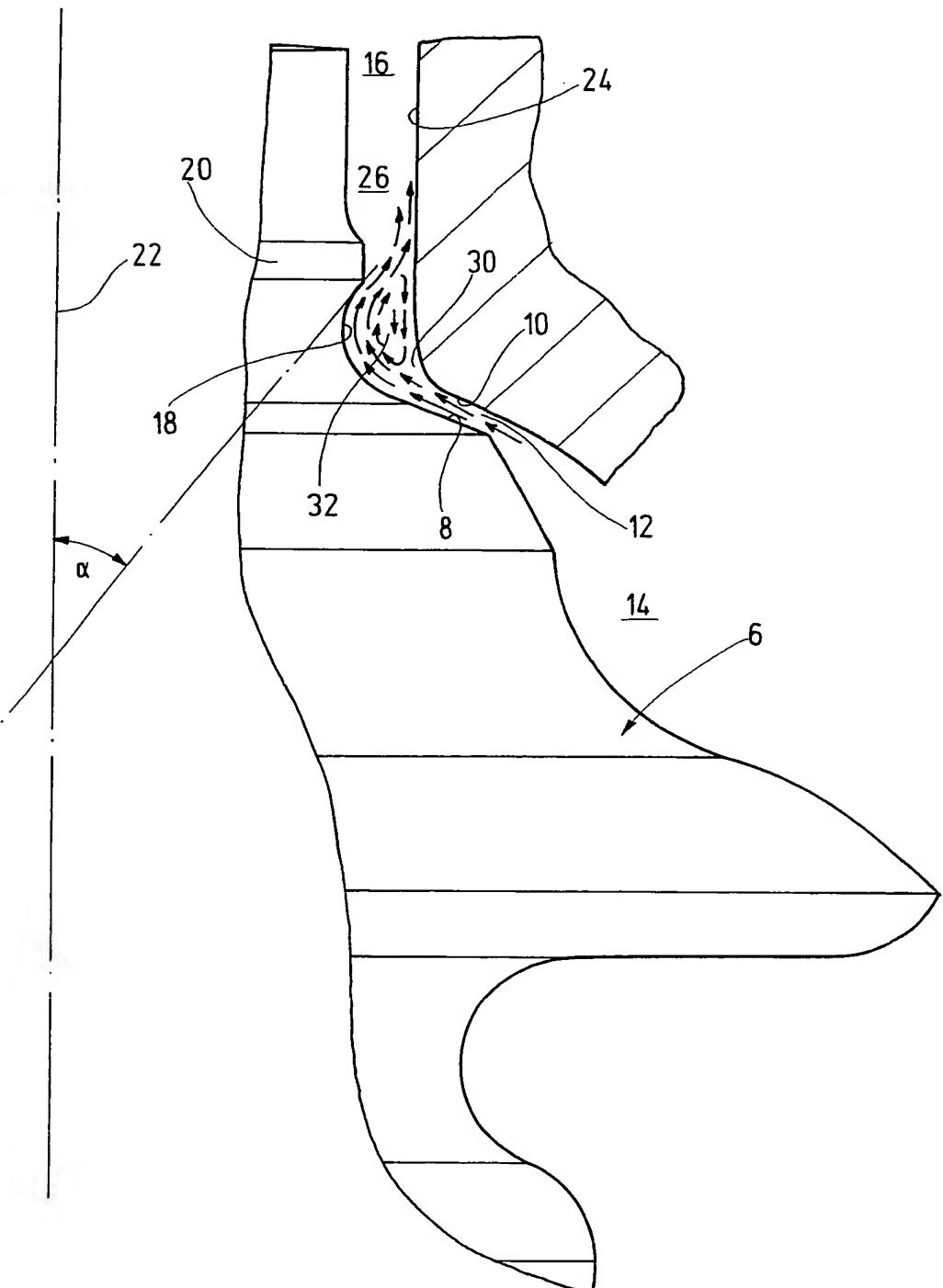


Fig.3

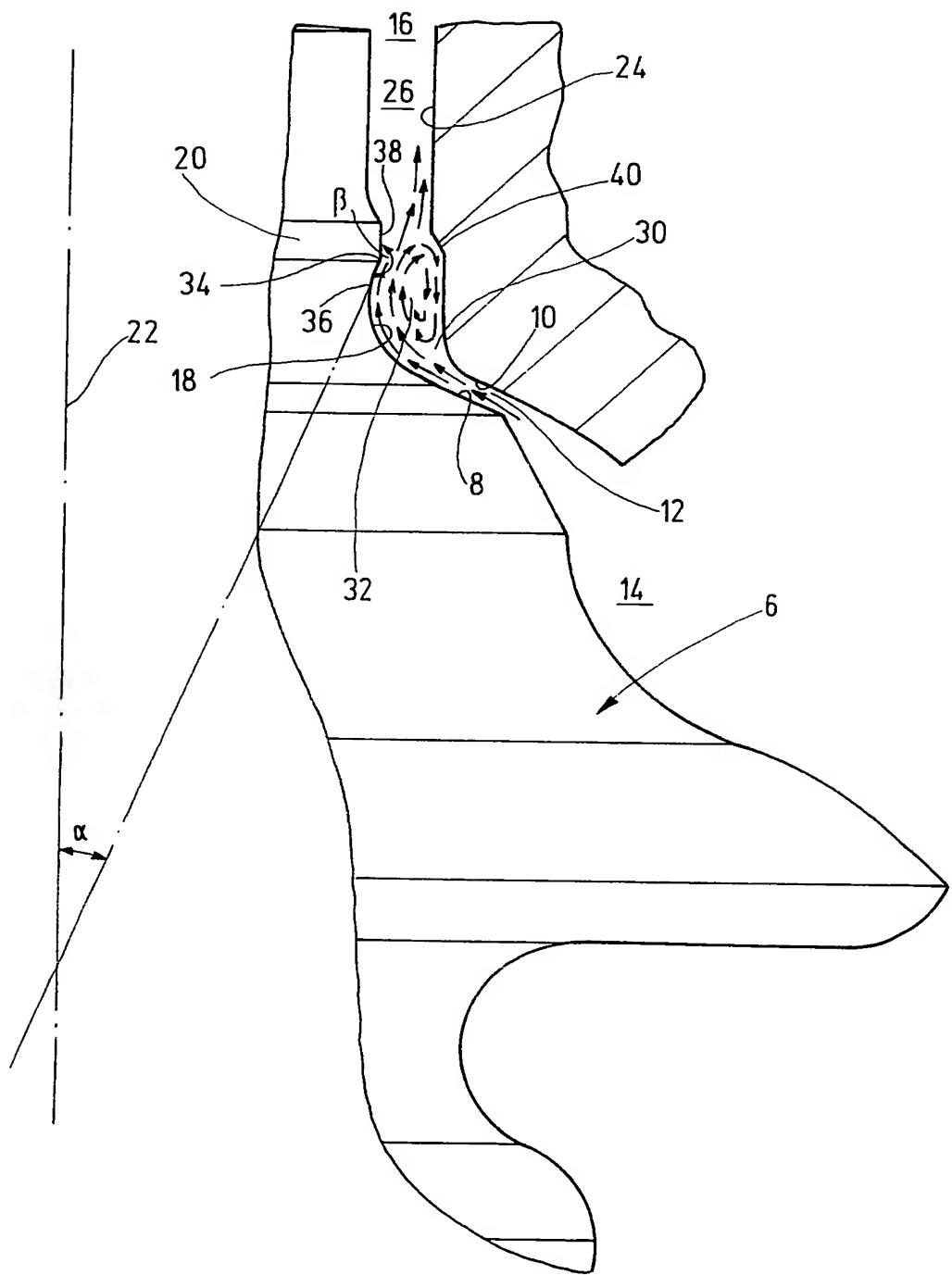


Fig.4